

Groefgrafieken van bomen ter bepaling van de opbrengstverandering door grondwaterstandswijzigingen

H.R.J. Vroon

Alterra-rapport 036

Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte, Wageningen, 2000

REFERAAT

Vroon, H.R.J., 2000. *Groeigrafieken van bomen ter bepaling van de opbrengstverandering door grondwaterstandwijzigingen*. Wageningen, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte. Alterra-rapport 036. 32 blz. 3 fig.; 8 tab.; 21 ref.

In opdracht van de Commissie van Deskundigen Grondwaterwet (CDG) te Utrecht heeft ALTERRA een landelijk toepasbare reeks van groeigrafieken van bomen samengesteld. De groeigrafieken worden gebruikt voor het bepalen van opbrengstveranderingen van bomen door een wijziging in de grondwaterstand. In de houtbijgroeigrafieken wordt de gemiddelde jaarlijkse maximale bijgroei gedurende de gehele omlooptijd van een bepaalde boomsoort per GVG-waarde afhankelijk gesteld van de voedingstoestand, zuurgraad, vochtleverend vermogen en de ontwateringstoestand. In totaal zijn er 9200 ASCII tabellen gegenereerd, waarmee het mogelijk is om bijvoorbeeld met behulp van het spreadsheetprogramma EXCEL op een eenvoudige wijze groeigrafieken te vervaardigen. Met behulp van deze reeks kunnen nu groeiveranderingen door een verandering in de grondwaterstand op gestandaardiseerde wijze worden gekwantificeerd.

Trefwoorden: bossen, droogteschade, groeigrafieken, grondwaterstand, houtbijgroei, opbrengstverandering, wateroverlast

ISSN 1566-7197

Dit rapport kunt u bestellen door NLG 30,00 over te maken op banknummer 36 70 54 612 ten name van Alterra, Wageningen, onder vermelding van Alterra-rapport 036. Dit bedrag is inclusief BTW en verzendkosten.

© 2000 Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte,
Postbus 47, NL-6700 AA Wageningen.
Tel.: (0317) 474700; fax: (0317) 419000; e-mail: postkamer@alterra.wag-ur.nl

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Alterra.

Alterra aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Alterra is de fusie tussen het Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek (IBN) en het Staring Centrum, Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied (SC). De fusie is ingegaan op 1 januari 2000.

Inhoud

Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	11
1.1 Achtergronden en probleemstelling	11
1.2 Projectdoelstelling en functionaliteit van groeigrafieken	11
1.3 Werkwijze	11
1.4 Opbouw van het rapport	12
2 Uitgangspunten en invoergegevens voor het vervaardigen van houtbijgroeigrafieken	13
2.1 Algemeen	13
2.2 Bodemgesteldheid	13
2.2.1 Voedingstoestand	14
2.2.2 Zuurgraad	14
2.2.3 Ontwateringstoestand	15
2.2.4 Vochtleverend vermogen	16
2.2.4.1 Vochthoudend vermogen van de wortelzone	16
2.2.5 Hydrologische gegevens	18
2.3 Boomsoorten	18
2.4 Relatie groei-bodemgesteldheid	19
3 Houtbijgroeigrafieken	21
3.1 Het vervaardigen van houtbijgroeigrafieken	21
3.2 Hantering houtbijgroeigrafieken	24
4 Discussie en conclusies	27
Literatuur	29
Woordenlijst	31

Woord vooraf

In opdracht van de Commissie van Deskundigen Grondwaterwet (CDG) te Utrecht heeft ALTERRA een landelijke reeks van houtbijgroeigrafieken samengesteld. Het onderzoek hiervoor werd uitgevoerd in de periode februari 2000 tot juni 2000.

Aan het project werkten mee:

- onderzoek, ontwikkeling en samenstelling van de groeigrafieken: ing. H.R.J. Vroon (ALTERRA);
- controle op het verloop en het eventueel bijstellen van de groeigrafieken: ing. H.R.J. Vroon (ALTERRA) en G. Bakker (CDG);
- het verzorgen van de digitale bestanden: ing. H.R.J. Vroon;
- projectleiding: ing. H.R.J. Vroon.

De organisatorische leiding van het project had het hoofd van de sectie Veldbodemkunde ir. J.L. Tersteeg.

Samenvatting

De CDG heeft sinds een paar jaar te maken met een toename in het aantal verzoeken om onderzoek naar de groeiveranderingen van bomen door een verandering in de stand van het freatisch grondwater. Om de groeiveranderingen op een reproduceerbare wijze te kunnen kwantificeren maakt men gebruik van houtbijgroeigrafieken. In de houtbijgroeigrafieken wordt de gemiddelde jaarlijkse maximale bijgroei gedurende de gehele omlooptijd van een bepaalde boomsoort per GVG-waarde afhankelijk gesteld van de voedingstoestand, zuurgraad, vochtleverend vermogen en de ontwateringstoestand. Er zijn op het ogenblik nog maar weinig groeigrafieken vervaardigd. Deze zijn lang niet toereikend om claims vanuit het hele land te kunnen behandelen. Daarom heeft de CDG aan ALTERRA opdracht gegeven om een landelijk toepasbare reeks van groeigrafieken te ontwikkelen. Met behulp van deze reeks kunnen groeiveranderingen door een verandering in de grondwaterstand op gestandaardiseerde wijze worden gekwantificeerd.

Voor het vervaardigen van de houtbijgroeigrafieken wordt gebruik gemaakt van de methode zoals die beschreven is in Vroon, 1997 en Bakker en Vroon, 1999. Voorafgaand aan de berekeningen heeft er een literatuurstudie plaatsgevonden. Deze studie is gebruikt om het aantal boomsoorten en de klassen van de beoordelingsfactoren vast te stellen. Het aantal boomsoorten en deze klassen bepalen namelijk in sterke mate het aantal door te rekenen combinaties van boomsoort, zuurgraad, voedingstoestand, grondwaterfluctuatie, kritieke z-afstand, dikte van de effectieve wortelzone en de beschikbare hoeveelheid mm vocht in de effectieve wortelzone. Om het aantal door te rekenen combinaties te beperken hebben we in overleg met de CDG een aantal vereenvoudigingen doorgevoerd.

Nadat het vaststellen van de klassengrenzen van de beoordelingsfactoren en de combinatieklassen per boomsoort hebben we programmatuur ontwikkeld voor het berekenen van grote hoeveelheden groeigrafieken. Vervolgens is de werking van de programmatuur getest en de resultaten op hun betrouwbaarheid gecontroleerd. Voorts zijn er invoerfiles gemaakt voor grote hoeveelheden (batchverwerking) berekeningen (gegevens van de groeigrafieken in tabelvorm) middels de hierboven ontwikkelde programmatuur. Na de bulkberekeningen is de kwaliteit van de houtbijgroeigrafieken steekproefsgewijs gecontroleerd (in samenwerking met CDG). In totaal hebben we 9200 ASCII tabellen gegenereerd, waarmee het mogelijk is om bijvoorbeeld met behulp van het spreadsheetprogramma EXCEL op een eenvoudige wijze groeigrafieken te vervaardigen.

Uit het onderzoek komen verder nog de volgende conclusies/aanbevelingen naar voren;

- Doordat we een aantal vereenvoudigingen in de uitgangspunten hebben toegepast kunnen de grafieken in meer of mindere mate afwijken van de werkelijke situatie. Men dient dan ook het verloop van de grafieken (indien mogelijk) te verifiëren met werkelijke hoogtegroeï van een opstand.

- Voedingstoestand 5 komt niet veel voor in productiebossen. Deze klasse is dan ook niet in de beoordeling meegenomen. Verder blijkt dat er voor productiebossen, vooralsnog geen zuurgraadklassen onderscheiden hoeven te worden. Dit geldt alleen als de zuurgraadklassen impliciet zijn gekoppeld aan de voedingstoestandklassen.
- Met behulp van de 9200 grafieken is het mogelijk om bijgroeveranderingen door grondwaterstandsveranderingen op gestandaardiseerde wijze landelijk te kwantificeren.
- De groeigrafieken zijn ook bruikbaar om eventuele schade door wateroverlast en of droogte te kwantificeren. Daarnaast kunnen ze ook worden gebruikt voor het bepalen van veranderingen in de groei van bomen door andere ingrepen dan grondwaterwinningen. Tenslotte kunnen de grafieken worden gebruikt als kennissysteem om inzicht te verschaffen in het groeigedrag van bomensoorten door veranderingen in de bodemgesteldheid.

1 Inleiding

1.1 Achtergronden en probleemstelling

Sinds enkele jaren heeft de CDG te maken met een toename in het aantal verzoeken om onderzoek naar bijgroeverandering van bomen door een verandering in de stand van het freatisch grondwater. Bij de behandeling van bovengenoemde verzoeken ontstond steeds meer de behoefte om de bijgroeveranderingen op een reproduceerbare wijze te kunnen kwantificeren. Daarom is in samenwerking met het DLO-Staring Centrum een methode ontwikkeld (Vroon 1997, Bakker en Vroon 1999) waarmee deze groeveranderingen kunnen worden vastgesteld. De spil voor het kwantificeren van de groeveranderingen van bomen wordt gevormd door de houtbijgroefgrafieken. In deze grafieken wordt de gemiddelde maximale aanwas van een betreffende boomsoort per GVG-waarde afhankelijk gesteld van de voedingstoestand, zuurgraad, vochtleverend vermogen en de ontwateringstoestand. Met behulp van deze grafieken kan zowel voor de huidige (beïnvloede) als voor de oorspronkelijke GVG-situatie de gemiddelde houtbijgroei van boomsoorten worden bepaald.

Op dit ogenblik zijn er alleen nog maar groefgrafieken vervaardigd voor een beperkt aantal situaties in het midden en zuiden van het land. Deze groefgrafieken zijn lang niet toereikend voor het afhandelen van de huidige en nog te verwachten bosschadeclaims. Derhalve is bij de CDG de behoefte ontstaan aan een landelijke toepasbare reeks voor de meest voorkomende boomsoorten onder alle relevante groeiomstandigheden.

1.2 Projectdoelstelling en functionaliteit van groefgrafieken

Het doel van dit onderzoek is het samenstellen en vervaardigen van een landelijke reeks van houtbijgroefgrafieken. Het betreft alleen de grafieken van de meest voorkomende boomsoorten in productiebossen onder alle relevante groeiomstandigheden. Met behulp van deze grafieken is het mogelijk om bijgroeveranderingen door grondwaterstandsveranderingen op gestandaardiseerde wijze landelijk te kwantificeren. Daarnaast kunnen de grafieken ook gebruikt worden als kennissysteem om inzicht te verschaffen in de respons van bomen door veranderingen in de groeiomstandigheden.

1.3 Werkwijze

Voor het vervaardigen van de houtbijgroefgrafieken is gebruik gemaakt van de methode zoals die beschreven is in de twee literatuurvermeldingen van paragraaf 1.1. Voorafgaand aan de berekeningen heeft een literatuurstudie plaatsgevonden om mogelijk nieuwe ontwikkelingen en inzichten mee te nemen in het onderzoek. Verder

is de literatuurstudie gebruikt om het aantal boomsoorten en de klassen van de beoordelingsfactoren vast te stellen. Het aantal boomsoorten en deze klassen bepalen namelijk in sterke mate het aantal door te rekenen combinaties van boomsoort, zuurgraad, voedingstoestand, grondwaterfluctuatie, kritieke z-afstand, dikte van de effectieve wortelzone en de beschikbare hoeveelheid mm vocht in de effectieve wortelzone. Om het aantal door te rekenen combinaties te beperken is in overleg met de CDG het aantal boomsoorten en de klassengrenzen van deze beoordelingsfactoren afgestemd op hetgeen in de praktijk relevant is.

Nadat de klassengrenzen van de beoordelingsfactoren en de combinatieklassen per boomsoort zijn vastgesteld is er programmatuur ontwikkeld voor het berekenen van grote hoeveelheden groeigrafieken. Na het ontwerp is de werking van de programmatuur getest en de resultaten op hun betrouwbaarheid gecontroleerd. Voorts zijn er invoerfiles gemaakt voor grote hoeveelheden (batchverwerking) berekeningen (gegevens van de groeigrafieken in tabelvorm) middels de hierboven ontwikkelde programmatuur. Na de bulkberekeningen is de kwaliteit van de houtbijgroeigrafieken steekproefsgewijs gecontroleerd (in samenwerking met CDG). De groeigrafieken zijn tenslotte in de vorm van digitale tabellen in ASCII format op CD ROM aan de opdrachtgever verstrekt.

1.4 Opbouw van het rapport

In hoofdstuk 2 worden de uitgangspunten voor het vervaardigen van de landelijke reeks van houtbijgroeigrafieken besproken. In hoofdstuk 3 wordt uiteengezet op welke wijze de houtbijgroeigrafieken zijn samengesteld. Daarnaast wordt ook ingegaan op welke wijze de grafieken gebruikt moeten worden. Tenslotte volgt in hoofdstuk 4 de discussie en de belangrijkste conclusies.

2 Uitgangspunten en invoergegevens voor het vervaardigen van houtbijgroeigrafieken

In de navolgende paragrafen worden de uitgangspunten en invoergegevens voor het maken van houtbijgroeigrafieken toegelicht. Daarnaast zal ook worden aangegeven op welke wijze er vereenvoudigingen hebben plaats gevonden om het aantal door te rekenen combinaties te beperken.

2.1 Algemeen

Grondwaterstandsveranderingen kunnen leiden tot een verandering van de hoeveelheid beschikbaar bodemvocht. Dit kan gevolgen hebben voor de grootte van de houtbijgroei van bomen. Om de groeiverandering van het bos door een verandering in de grondwaterstand te kunnen kwantificeren, wordt onder meer gebruik gemaakt van houtbijgroeigrafieken (TCGB, 1986; Hendriks, 1988; Van Delft, 1991; CoGroWa, 1993; Vroon, 1997; Bakker en Vroon, 1999). De methode voor het kwantificeren van de eventuele schade en/of voordeel wordt in het kort als volgt beschreven.

In de houtbijgroeigrafieken wordt de gemiddelde jaarlijkse maximale bijgroei gedurende de gehele omlooptijd van een bepaalde boomsoort per GVG-waarde afhankelijk gesteld van de voedingstoestand, zuurgraad, vochtleverend vermogen en de ontwateringstoestand.

Voor het karakteriseren van het grondwaterstandsverloop wordt de gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand (GVG) gebruikt. Als maat voor de groei wordt de absolute boniteit gebruikt. Hieronder wordt verstaan de grootte van de gemiddelde aanwas op het tijdstip van culminatie (grootste hoogte) (Schutz en Van Tol, 1990). Vervolgens kan aan de hand van de groeigrafieken voor elk opstandsvak de gemiddelde maximale aanwas bepaald worden bij de onbeïnvloede en de beïnvloede GVG. Het verschil tussen de twee bijbehorende aanwasniveaus is de groeiverandering door een verandering in de stand van het freatisch grondwater (Vroon, 1997 en Bakker en Vroon, 1999).

In de volgende paragrafen wordt ingegaan op de benodigde en beschikbare gegevens, welke als basis hebben gediend voor het vervaardigen van de houtbijgroeigrafieken.

2.2 Bodemgesteldheid

Gegevens over de bodemgesteldheid vormen samen met de gewaseigenschappen van boomsoorten de basis voor het vaststellen van een houtbijgroeigrafiek. In het hierna

volgende wordt ingegaan op dié factoren van de bodemgesteldheid, die relevant zijn voor het vaststellen van de gemiddelde maximale bijgroei per boomsoort.

2.2.1 Voedingstoestand

De voedingstoestand duidt de vruchtbaarheid van een grond aan die voorkomt, wanneer deze grond tenminste de laatste 10 à 15 jaar met bos of met een halfnatuurlijke vegetatie is begroeid, en die in die periode niet (meer) is bekalkt of bemest. De voedingstoestand wordt alleen gebruikt bij de geschiktheidsbeoordeling voor bosbouw (Van Soesbergen et al., 1986). Er worden vijf gradaties onderscheiden (tabel 1).

Tabel 1 Gradaties in voedingstoestand

Voedingstoestandklasse	Benaming
1	zeer hoog
2	vrij hoog
3	matig
4	vrij laag
5	zeer laag

Uit de literatuurstudie (van de Burg, 1987; van Delft, 1991; Hendriks, 1988 en Vroon, 1997) is gebleken, dat voor het samenstellen van de landelijke reeks van groeigrafieken voor productiebossen de volgende voedingstoestandklassen relevant zijn: klasse 1 en 2 gecombineerd, 3 en 4. De klassen 1 en 2 zijn gecombineerd, omdat de bijgroei van de meeste boomsoorten tussen beide klassen niet of nauwelijks verschilt. Alleen bij de populier is de bijgroei in klasse 2 iets minder ten opzichte van klasse 1. Dit geringe verschil is echter niet meegenomen in het onderzoek. Voedingstoestand 5 is wel relevant voor bos, maar komt in productiebossen (bijmesting bij aanplant) niet veel voor. Voor het samenstellen van de landelijke reeks groeigrafieken voor productiebossen is op grond hiervan voedingstoestandklasse 5 niet in de beoordeling meegenomen. Voor het afhandelen van verzoeken om onderzoek in bossen zonder houtproductiedoelinden (b.v. recreatiebos), dient men echter voedingstoestandklasse 5 wel in de beoordeling mee te nemen. Dit kan inhouden, dat men in de toekomst bij het afhandelen van schadeclaims in bossen zonder productiedoelinden het aantal groeigrafieken mogelijk moet uitbreiden met deze klasse.

De voedingstoestand kan het beste met behulp van een vegetatiekartering worden afgeleid uit de spontane vegetatie (Bannink et al., 1973).

2.2.2 Zuurgraad

De beoordelingsfactor zuurgraad geeft een aanduiding over de zuurgraad in de bewortelbare zone van een grond die optreedt, wanneer deze grond ten minste de laatste 10 à 15 jaar met bos of met een halfnatuurlijke vegetatie is begroeid en in die periode niet (meer) is bekalkt of bemest.

De zuurgraad wordt uitgedrukt in pH-KCL. Er worden 3 gradaties onderscheiden (tabel 2).

Tabel 2 Gradatie in zuurgraad uitgedrukt in pH-KCL

Gradatie	pH KCL	
Code	benaming	
1	neutraal	> 6,5
2	zwak zuur	4,5 – 6,5
3	sterk zuur	< 4,5

Uit de literatuurstudie is gebleken (van de Burg, 1987; van Delft, 1991; Hendriks, 1988 en Vroon, 1997), dat voor het samenstellen van de landelijke reeks van groeigrafieken voor productiebossen, vooralsnog geen zuurgraadklassen onderscheiden hoeven te worden. Dit kan alleen als we er impliciet van uitgaan, dat de zuurgraadklassen zijn gekoppeld aan de voedingstoestandklassen. In de praktijk blijkt deze koppeling in het algemeen goed te functioneren.

2.2.3 Ontwateringstoestand

De ontwateringstoestand is een beoordelingsfactor die van belang is voor de zuurstofvoorziening van de boomwortels. Onvoldoende ontwatering kan leiden tot zuurstofgebrek in de wortelzone en daarmee tot een slechte groei van de bomen. De ontwateringstoestand wordt rekening houdend met het bodemtype afgeleid van de gemiddelde hoogste grondwaterstand (GHG).

Recentelijk is de indeling in ontwateringstoestand voor de bosbouw iets gewijzigd door namelijk de GVG te gebruiken als indelingscriterium voor een vrij ondiepe en zeer ondiepe ontwateringstoestand (tabel 3)(Hendriks et al., 1999).

Deze wijziging hangt samen met het feit, dat een aantal boomsoorten (bv. populier) hoge wintergrondwaterstanden (GHG) kunnen verdragen. Wanneer echter het groeiseizoen begint (GVG), dan moet de grondwaterstand voor een voldoende luchtvoorziening van de wortels, tot ca. 20 cm beneden het maaiveld zijn gedaald. In dit geval betekent dus, dat voor nattere gronden de GVG belangrijker is dan de GHG.

Tabel 3 Ontwateringstoestand voor bosbouw als afhankelijke van de GHG en GVG

Gradatie	Benaming	GHG	GVG
Code		(cm-mv.)	(cm-mv.)
1	zeer diep	=> 80	niet relevant
2	vrij diep	40 – 80	niet relevant
3	matig diep	25 – 40	niet relevant
4	vrij ondiep	< 25	=> 20
5	zeer ondiep	< 25	< 20

De ontwateringstoestand van een grond wordt normaliter direct van de gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG) afgeleid, maar aangezien de gemiddelde voorjaars-grondwaterstand (GVG) in de houtbijgroefgrafieken als verklarende variabele voor de aanwas gebruikt wordt, is de ontwateringstoestand indirect volgens de betrekking $GVG = 5,4 + 0,83 * GHG + 0,19 * GLG$ (Gemiddeld Laagste Grondwaterstand) afgeleid.

Voor een nadere detaillering van de ontwateringstoestand met de bijbehorende gradaties wordt verwezen naar de literatuur (Van Soesbergen et al., 1986; Van Delft, 1991 en Hendriks et al., 1999).

2.2.4 Vochtleverend vermogen

Onder het vochtleverend vermogen van de grond wordt verstaan de hoeveelheid vocht die in een groeiseizoen van 150 dagen (1 april tot 1 september) en in een droog jaar (10% droog jaar) aan de plantenwortel kan worden geleverd (Van Soesbergen et al., 1986). Een 10% droog jaar komt eens in de 10 jaar voor. Tussen boomsoorten bestaan grote verschillen in vochtbehoefte. In het algemeen geldt dat de populier, Japanse lariks, fijnspar en sitkaspar meer vocht nodig hebben om een bepaalde bijgroei te bereiken dan pinussoorten en douglas.

Het vochtleverend vermogen van een grond is voornamelijk afhankelijk van het vochthoudend vermogen van de wortelzone, het capillair geleidingsvermogen van de ondergrond en het grondwaterstandsverloop. Dit laatste aspect komt bij de hydrologische gegevens aan de orde.

2.2.4.1 Vochthoudend vermogen van de wortelzone

Het vochthoudend vermogen van de wortelzone wordt volgens het WIB-C bepaald uit de effectieve bewortelingsdiepte en de volumefractie beschikbaar vocht.

De wortelverdeling onder een opstand varieert met de afstand tot de boom en de diepte. De beworteling van naaldhoutgewassen is vaak geconcentreerd aan de oppervlakte waar een dikke strooisellaag veel vocht kan vasthouden. Loofhoutgewassen wortelen over het algemeen meer in de diepte, de strooisellaag is hier meestal dunner.

Voor bomen wordt aangenomen dat circa 80 à 90% van de wortels zich bevindt binnen de effectieve bewortelingsdiepte (Locher en De Bakker, 1990).

Bij een homogeen bewortelingspatroon komt dit overeen met 80 à 90% van de bewortelbare diepte.

In de praktijk varieert de diepte van de effectieve beworteling in bosopstanden enorm. Om deze variatie binnen de perken te houden hebben we op basis van de onderzoeksresultaten uit de diverse boskarteringen (van Delft, 1991 en 1995; Hendriks, 1988;

Vroon, 1997 en Mekink, 1988) de effectieve bewortelingsdiepte geschematiseerd tot de volgende 4 standaarddikten: 50, 70, 90 en 110 cm.

De volumefractie beschikbaar vocht wordt berekend uit de waterretentie-karakteristiek(en) van de effectieve bewortelingsdiepte (Van Delft, 1991). Hierbij wordt uitgegaan van de karakteristieken die door Krabbenborg et al. (1983) bepaald zijn voor een aantal gronden. Ook hier hebben we voor het samenstellen van de landelijke reeks groeigrafieken een vereenvoudiging toegepast om het aantal rekeneenheden te beperken. De volumefractie beschikbaar vocht in de effectieve bewortelingsdiepte hebben we op basis van de gegevens uit de diverse boskarteringen (van Delft, 1991; Hendriks, 1988 en Vroon, 1997) geschematiseerd tot 4 klassen. Voorts hebben we de klassengrootte van de hoeveelheid beschikbaar vocht afhankelijk gemaakt van de dikte van de effectieve bewortelingsdiepte (tabel 4).

Tabel 4 Standaarddikte voor de effectieve bewortelingsdiepte in combinatie met de standaardklasse volumefractie beschikbaar vocht, die gebruikt zijn voor het samenstellen van de landelijke reeks van groeigrafieken

Standaarddikte voor de effectieve bewortelingsdiepte (cm)	Standaardklasse voor de volumefractie beschikbaar vocht (mm)			
50	30	50	70	90
70	50	70	90	110
90	70	90	110	130
110	90	110	130	150

Voor de berekening van het vochthoudend vermogen van de effectieve bewortelingsdiepte wordt verwezen naar de literatuur (Van Delft, 1991 en Van Soesbergen et al., 1986).

2.2.4.2 Capillair geleidingsvermogen van de ondergrond

Naast het vochthoudend vermogen van de effectieve bewortelbare diepte is ook de bijdrage vanuit het grondwater van belang. Bepalend hiervoor is de afstand van de onderkant van de effectieve bewortelingsdiepte tot het grondwater en het capillair geleidingsvermogen van de ondergrond. Het capillair geleidingsvermogen van de ondergrond wordt bepaald door de $K(h)$ -relatie van de verscheidene lagen in de ondergrond. Voor het bepalen van het capillair geleidingsvermogen wordt uitgegaan van de $K(h)$ -relaties die door Wösten et al. (1987) bepaald zijn voor een aantal ondergrondbouwstenen. Als maat voor het capillair geleidingsvermogen van de ondergrond wordt de kritieke z -afstand gebruikt. Hieronder verstaat men de maximale afstand tussen het grondwater en de onderkant van de effectieve bewortelingsdiepte, waarover een bepaalde vochtstroom (flux) nog mogelijk is. Er wordt aangenomen dat een flux van 2 mm/dag als aanvulling van de vochtvoorraad in de wortelzone in Nederland meestal toereikend is om een gewas optimaal te laten groeien (Van Soesbergen et al., 1986).

Ook de kritieke z -afstand hebben we om het aantal rekeneenheden te beperken geschematiseerd tot standaardklassen. Deze klassen zijn afgeleid uit de kritieke z -afstanden van de standaardondergrondtypen die onder meer door de CDG worden

gebruikt als input voor de TCGB raadpleegtabellen (Bouwman, 1990). In het totaal zijn de volgende 5 klassen onderscheiden: 50, 70, 90, 110 en 130 cm.

2.2.5 Hydrologische gegevens

De grondwaterstand en het verloop hiervan gedurende het groeiseizoen zijn in grote mate bepalend voor het vochtleverend vermogen van een grond. Het gemiddelde verloop van de grondwaterstand gedurende het groeiseizoen wordt gekarakteriseerd door de GVG en de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG). De berekening van het vochtleverend vermogen is volgens het WIB-C systeem gebaseerd op een 10% droog jaar, waardoor de laagste grondwaterstand (LG3= gemiddelde van de 3 laagste grondwaterstanden in een 10% droog jaar) aan het eind van het groeiseizoen beneden het GLG-niveau komt te liggen. Voor de meeste open zandgronden ligt de LG3 in een 10% droog jaar 15 à 35 cm lager dan het GLG-niveau. Aangezien de fluctuatiegrootte (GLG-GHG) van het grondwater in bosgebieden sterk kan variëren hebben we deze geschematiseerd tot de volgende 5 standaardklassen: 60, 80, 100, 120 en 140 cm. Voorts hebben we de LG3 waarden in combinatie met de bovengenoemde standaardklassen geschematiseerd tot klassen 15 à 35 cm lager dan het GLG-niveau (tabel 5).

Tabel 5 Standaardklassen voor de fluctuatie van het grondwater (GLG-GHG) in combinatie met de standaardklassen voor LG3-waarden, die gebruikt zijn voor het samenstellen van de landelijke reeks van groeigrafieken

Standaardklasse voor de fluctuatie van het grondwater (GLG-GHG in cm)	Standaardklasse voor de LG3 waarde (cm)
60	15
80	20
100	25
120	30
140	35

2.3 Boomsoorten

Uit de resultaten van de diverse boskarteringen en uit literatuuronderzoek is gebleken, dat het assortiment van boomsoorten in de Nederlandse productiebossen aanzienlijk kan zijn. Daarnaast kan er zowel sprake zijn van gemengd bos als van een monocultuur.

Voor het samenstellen van de landelijke reeks van groeigrafieken kunnen niet alle boomsoorten worden meegenomen. Het aantal boomsoorten bepaald namelijk in sterke mate het aantal door te rekenen combinaties. Om het aantal te beperken hebben we een het aantal geschematiseerd (op basis van voorkomen en groeiverloop) tot de volgende 10 standaardsoorten : Corsicaanse den, populier, esdoorn, Amerikaanse eik, zomereik, beuk, grove den, douglas, Japanse lariks en fijnspaar.

2.4 Relatie groei-bodemgesteldheid

Om het groeiverloop van de 10 standaardboomsoorten als afhankelijke van de bodemgesteldheid te kunnen karakteriseren is primair uitgegaan van de methode voor geschiktheidsbeoordeling van gronden voor bosbouw op basis van het WIB-C (Haans, 1979, Van Soesbergen et al., 1986 en Waenink en Van Lynden, 1988 en 1989). Op basis van de bodemgesteldheid kan aan de hand van de verschillen in het gemiddelde grondwaterstandsverloop middels het WIB-C systeem een groeiverwachting voor verschillende boomsoorten worden vastgesteld. Deze groeiverwachting wordt uitgedrukt in de groeiklassen 1 (goede groei), 2 (normale groei) en 3 (slechte groei). Een groeiklasse wordt gekenmerkt door een groeitraject, dat per boomsoort verschilt. In tabel 6 staat de sleutel weergegeven (Haans, 1979) waarmee de verschillende groeiklassen toegekend zijn aan de te beoordelen boomsoorten. Hierbij is de groei afhankelijk gesteld aan de beoordelingsfactoren ontwateringstoestand, vochtleverend vermogen, voedingstoestand en zuurgraad (Haans, 1979).

De Dorschkamp heeft in de periode 1971 tot en met 1988 uit de leeftijd en opperhoogte van een aantal boomsoorten grafieken met S-waarden vastgesteld. De S-waarde geeft de maximaal bereikbare waarde van de opperhoogte (H) bij onbepaalde leeftijd op een betreffende groeiplaats. Daarnaast heeft de Dorschkamp van iedere S-waarde de gemiddelde bijgroei in $m^3/ha.jaar$ afgeleid. De gemiddelde bijgroei is ingedeeld in 3 groeiklassen, waarmee een groeiverwachting (goede, normale en slechte groei) wordt uitgedrukt (Schütz en van Tol, 1990).

Recentelijk heeft de Dorschkamp voor de meeste boomsoorten op basis van nieuwe inzichten en uitgangspunten andere opbrengsttabellen samengesteld (Jansen et al., 1996). Deze opbrengsttabellen zijn voor de berekeningen vooralsnog niet bruikbaar, omdat de gemiddelde bijgroei nog niet in een van de 3 groeiklassen is ingedeeld. Door de gewijzigde inzichten en meetmethoden blijkt het ook niet mogelijk om de oude opbrengstgrafieken met de bijbehorende groeiklassen te combineren met de nieuwe opbrengsttabellen. Door deze problematiek hebben wij de gegevens van de nieuwe opbrengsttabellen niet kunnen gebruiken voor het onderzoek. We zijn dan ook uitgegaan van de gegevens uit Schütz en van Tol (1990), aangevuld met enkele nieuwe gegevens van de Dorschkamp.

Van elke boomsoort heeft men per groeiklasse een boven- en ondergrens voor de gemiddelde bijgroei ($m^3/ha.jaar$) vastgesteld (Waenink en Van Lynden, 1988 en Schütz en Van Tol, 1990). Voor het vervaardigen van de groeigrafiek is het noodzakelijk deze grenzen te kennen om inzicht te krijgen in het groeitraject van deze groeiklassen. Deze grenswaarden worden namelijk gebruikt om het groeiverloop van de boomsoorten als afhankelijke van het grondwaterstandsverloop uit te kunnen drukken in een absoluut aanwasniveau (gemiddeld maximale bijgroei). Een nadeel is echter, dat men aan groeiklasse 1 geen bovengrens heeft toegekend. Deze bovengrens hebben we voor de meeste boomsoorten afgeleid uit de grafieken met S-waarden, die door de Dorschkamp zijn samengesteld. Enkele waarden zijn afkomstig uit het onderzoek naar de groei van bomen in relatie tot het vochtleverend vermogen van een grond, dat door van Den Burg (1987) is uitgevoerd. In tabel 7 staat de

groei klassenindeling met de bijbehorende grenswaarden van de 10 standaardboomsoorten weergegeven.

Tabel 6 Groeiverwachting van de 10 standaardboomsoorten als afhankelijk van de gradaties in ontwateringstoestand, vochtleverend vermogen en voedingstoestand (Haans, 1979)

Ontwaterings- toestand	Vochtleverend vermogen	Gradaties in voedingstoestand		
		1 en 2 gecombineerd	3	4
1	1	11111-11111	22111-11111	33222-11222
	2	11111-11111	32111-11111	33222-11222
	3	22111-11111	32222-11122	33222-11222
	4	32222-22222	33222-22222	33333-223*33
	5	33333-33333	33333-33333	33333-33333
2	1	11111-11111	32111-11111	33222-11222
	2	11111-11111	32111-11111	33222-11222
	3	22111-11111	32222-11122	33222-11222
	4	32222-22222	33222-22222	33333-223*33
	5	33333-33333	33333-33333	33333-33333
3	1	11111-11211	22112-11211	33222-11222
	2	11111-11211	32112-11211	33222-11222
	3	22112-11211	32222-11222	33222-11222
	4	32222-22222	33222-22222	33333-223*33
	5	33333-33333	33333-33333	33333-33333
4	1	22222-22321	22223-22321	33333-22322
	2	22222-22321	32223-22321	33333-22322
	3	22223-22321	33223-22322	33333-22322
	4	33333-22322	33333-22322	33333-22333
5	1	33333-33332	33333-33332	33333-33333
	2	33333-33332	33333-33332	33333-33333
	3	33333-33332	33333-33332	33333-33333

* De beoordeling van de douglas wijkt af van Haans (1979)(naar Van Den Burg, 1987)

De verklaring van de cijfers in de tabel is als volgt; de reeks van 9 cijfers geeft de groei van de standaardboomsoorten aan. De volgorde is: 1^e cijfer populier, wilg es; 2^e cijfer esdoorn; 3^e cijfer zomereik; 4^e cijfer Amerikaanse eik; 5^e cijfer beuk; 6^e cijfer grove den; 7^e cijfer Corsicaanse en Oostenrijkse den; 8^e cijfer douglas; 9^e cijfer Japanse lariks; 10^e cijfer fijnspar en sikaspar. Groei klasse: 1= goede groei; 2 = normale groei; 3 = slechte groei.

Tabel 7 groei klassenindeling met de bijbehorende grenswaarden van de 10 standaardboomsoorten

Boomsoort	Culminatiewaarden van de gemiddelde maximale bijgroei (m ³ /ha.jaar) voor groei klasse			Opbrengsttabellen
	1	2	3	
	Zomereik	9,0- 6,9	6,9- 4,5	
Beuk	9,9- 6,8	6,8- 3,4	3,4-0	De Dorschkamp, 1974
Japanse Lariks	15,1-10,8	10,8- 7,0	7,0-0	De Dorschkamp, 1987
Corsicaanse den	21,1-15,3	15,3- 9,1	9,1-0	De Dorschkamp, 1987
Grove den	7,5- 7,0	7,0- 5,3	5,3-0	Van Den Burg, 1987
Fijnspar	15,0-12,3	12,3- 7,6	7,6-0	De Dorschkamp, 1971
Esdoorn	10,4- 7,2	7,2- 4,0	4,0-0	De Dorschkamp, 1971
Douglas	18,5-13,5	13,5- 8,8	8,8-0	De Dorschkamp, 1971
Populier	21,5-17,0	17,0-12,5	12,5-0	De Dorschkamp, 1975
Amerikaanse eik	11,6- 8,4	8,4- 5,5	5,5-0	De Dorschkamp, 1971

3 Houtbijgroeigrafieken

In de volgende paragrafen wordt uiteengezet op welke wijze de houtbijgroeigrafieken zijn samengesteld, en ook het gebruik van deze grafieken.

3.1 Het vervaardigen van houtbijgroeigrafieken

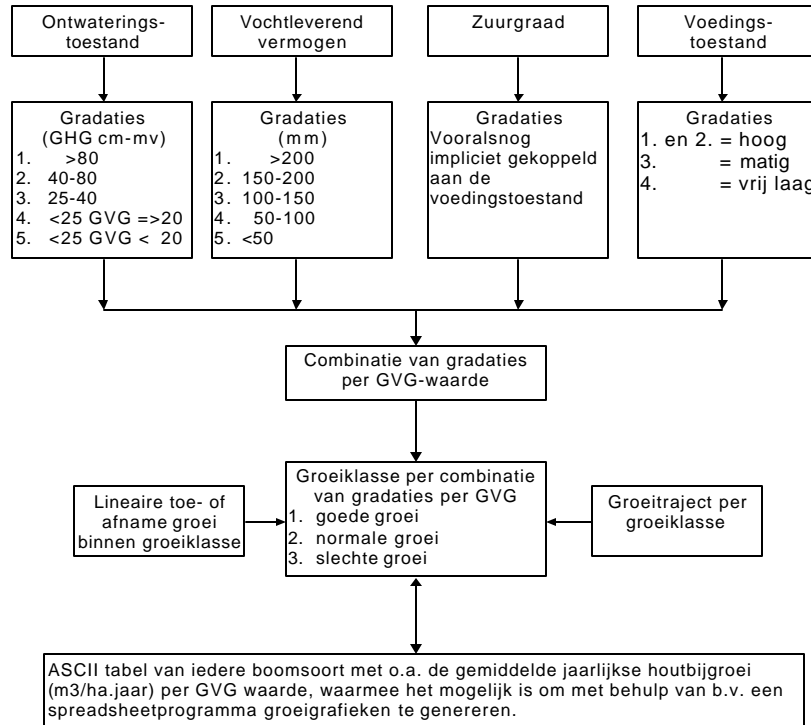
Voor het vervaardigen van de houtbijgroeigrafieken is per boomsoort de gemiddelde maximale aanwas per GVG-waarde (van 0 tot 250 cm in eenheden van 1 cm) afhankelijk gesteld van de voedingstoestand, zuurgraad (impliciet), vochtleverend vermogen en de ontwateringstoestand. Hiervoor is eerst per GVG waarde de ontwateringstoestand en het vochtleverend vermogen vastgesteld (bij een gegeven voedingstoestand en zuurgraad (impliciet)). Vervolgens is de GVG-waarde bij een hangwaterprofiel en een grondwaterprofiel bepaald. Door het vochtleverend vermogen voor een hangwaterprofiel gelijk te stellen aan het vochthoudend vermogen van de wortelzone en dat van een grondwaterprofiel aan 200 mm/jaar (gradatie 1 van het vochtleverend vermogen) is het vochtleverend vermogen (in gradaties) voor de tussenliggende GVG-waarden via het computerprogramma VERPF7 (Stolp en Vroon, 1990) berekend. Daarna is ten aanzien van de maximale en minimale GVG-waarde per berekende gradatie van het vochtleverend vermogen, vanaf de GVG-waarde bij een grondwaterprofiel tot de GVG-waarde bij een hangwaterprofiel, uitgegaan van een lineaire afname van de vochtleverantie per berekende gradatie van het vochtleverend vermogen. Dit is gebaseerd op het feit dat de WIB-C uitgaat van een lineaire afname van het grondwaterstandsverloop (GVG-LG3) gedurende een groeiseizoen van 150 dagen in een 10% droog jaar.

Op basis van de vastgestelde gradaties in zuurgraad (impliciet), voedingstoestand, ontwateringstoestand en het vochtleverend vermogen hebben we met behulp van de groeiverwachtingstabellen (Haans et al., 1979) per GVG waarde de groeiklasse per boomsoort afgeleid. Naast een hoeveelheid GVG waarden (250 stuks) leverde dit ook een reeks met groeiklassen op. De groeiverandering is aan de hand van deze informatie per GVG waarde bepaald door een interpolatie tussen de bijgroei binnen een groeiklasse (grenswaarden uit tabel 7) en de bijbehorende GVG waarde. Bij deze berekeningen is ook rekening gehouden met het feit dat een afname van het vochtleverend vermogen van een grond bij diepere GVG-waarden niet altijd samen hoeft te gaan met een afname van de bijgroei. Uit onderzoek (Van den Burg, 1987) naar de relaties tussen het vochtleverend vermogen van de grond en de groei is namelijk gebleken dat enkele boomsoorten bij een vochtleverantie van minder dan 200 mm nog maximaal kunnen groeien (b.v. grove den). Indien dit aan de orde was, hebben we de berekeningen aan de hand van deze informatie aangepast.

Verder blijkt uit het onderzoek dat de bijgroei van de douglas bij een vochtleverend vermogen van minder dan 100 mm (gradatie 4) in combinatie met een vrij lage voedingstoestand (gradatie 4) geringer is dan 8,8 m³/ha.jaar. Dit wijkt af ten opzichte

van de groeiklasse die middels de groeiverwachtingstabel van Haans zou zijn toegekend (groeiklasse 2). Op grond van dit feit hebben we voor deze situatie groeiklasse 2 vervangen door groeiklasse 3.

Door de 250 berekende bijgroeiwaarden uit te zetten ten opzichte van de GVG waarden verkrijgt men uiteindelijk de houtbijgroefgrafiek. In figuur 1 staat de gehele procedure in een schema weergegeven, zoals wij die hebben gebruikt voor het vaststellen van een groefgrafiek.



Figuur 1 schema voor het vaststellen van de groefgrafiek

In totaal hebben we aan de hand het aantal door te rekenen combinaties van boomsoort, zuurgraad (impliciet), voedingstoestand, grondwaterfluctuatie, kritieke z-afstand, dikte van de effectieve bewortelingsdiepte en de beschikbare hoeveelheid mm vocht in de effectieve wortelzone 9200 ASCII tabellen gegenereerd, waarmee het mogelijk is om bijvoorbeeld met behulp van het spreadsheetprogramma EXCEL op een eenvoudige wijze groefgrafieken te vervaardigen. In de ASCII tabellen zijn de volgende gegevens opgenomen:

1. algemene gegevens over de uitgangspunten die gebruikt zijn om de tabel te vervaardigen;
2. 250 GVG waarden in eenheden van 1 cm;
3. droogteschade in m³/ha.jaar per GVG waarde;
4. wateroverlastschade in m³/ha.jaar per GVG waarde;
5. houtbijgroei in m³/ha.jaar.

Een verkorte weergave van een ASCII tabel staat weergegeven in tabel 8.

Tabel 8 Verkorte weergave van een ASCII tabel

Algemene gegevens							
boomtype	zgr	vtd	fluc	zafs	ew	ewvocht	p10
amerieik.dat	3	2.3	100	110	110	90	25
GVG (cm)	Droogte schade (m3/ha. jaar)	Watero verlast (m3/ha. jaar)	Houtbijgroe (m3/ha.jaar)				
0	0.00	11.60	0.00				
1	0.00	11.38	0.22				
2	0.00	11.16	0.44				
3	0.00	10.94	0.66				
4	0.00	10.72	0.88				
5	0.00	10.50	1.10				
100	0.00	0.00	11.60				
101	0.00	0.00	11.60				
102	0.00	0.00	11.60				
103	0.00	0.00	11.60				
104	0.00	0.00	11.60				
105	0.00	0.00	11.60				
170	1.98	0.00	9.62				
171	2.00	0.00	9.60				
172	2.01	0.00	9.59				
173	2.03	0.00	9.57				
174	2.05	0.00	9.55				
175	2.07	0.00	9.53				
210	2.70	0.00	8.90				
211	2.72	0.00	8.88				
212	2.74	0.00	8.86				
213	2.75	0.00	8.85				
214	2.77	0.00	8.83				
215	2.79	0.00	8.81				
246	2.88	0.00	8.72				
247	2.88	0.00	8.72				
248	2.88	0.00	8.72				
249	2.88	0.00	8.72				
250	2.88	0.00	8.72				

De 9200 ASCII tabellen zijn op CD ROM gezet in een door de opdrachtgever bepaalde directory structuur en worden in deze vorm alleen aan de opdrachtgever verstrekt. In figuur 2 staat in een schema de directory structuur weergegeven.

Standaard Boomtype					
amerikaik	Voedings toestand				
	aekvt13 (geldt voor voedingstoestand 1 t/m 3)	Standaard Fluctuatie			
		fluc100 (fluctuatie (GLG-GHG) van 100 cm)	Standaard Z-afstand		
			Zafs110 (kritieke z-afstand van 110 cm)	Standaard Effectieve bewortelingsdiepte	
				Ew110 (effectieve bewortelingsdiepte van 110 cm)	Standaard-klasse voor de volumefractie beschikbaar vocht (mm) (4 files)
					AEV3F10Z11E 11V15.dat AEV3F10Z11E 11V13.dat AEV3F10Z11E 11V11.dat AEV3F10Z11E 11V9.dat (De V met de cijfercode geeft de hoeveelheid vocht in centimeters aan)

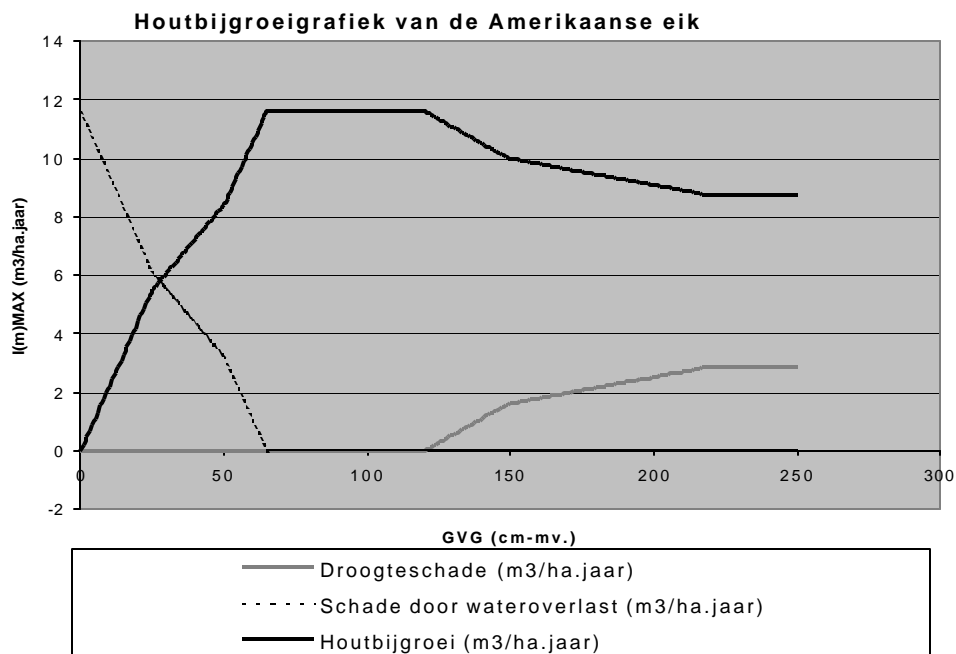
Figuur 2 Directory structuur van de ASCII files op CD ROM. De Amerikaanse eik dient als voorbeeld

3.2 Hantering houtbijgroefgrafieken

Voor de interpretatie van de houtbijgroefgrafieken wordt figuur 3 als voorbeeld gebruikt. De houtbijgroefgrafieken geven een indicatie over het bijgroeverloop van de verschillende boomsoorten voor verscheidene GVG-waarden. Als maat voor de houtbijgroei is de absolute boniteit gebruikt. Hieronder wordt verstaan de grootte van de gemiddelde aanwas op het tijdstip van culminatie (Schutz en Van Tol, 1990). Het gebruikte symbool is $I(m)_{max}$, de bijbehorende dimensie is $m^3/ha*jaar$.

Bij lage waarden van de GVG (meest linker deel van de grafiek) wordt de groei geremd door een onvoldoende aëratie van de bodem door een ondiepe ontwateringstoestand. De bijgroei is $0 m^3/ha.jaar$ bij een GVG waarde van $0 cm - mv$ (zie curve houtbijgroei). De schade door wateroverlast die hieruit voortvloeit bedraagt $9,0 m^3/ha.jaar$. Deze staat weergegeven in de curve 'schade door wateroverlast'. Het relatieve bijgroei optimum ligt op het punt waar de bodemaëratie

niet meer beperkend is. De groei kan echter nog wel beperkt worden door een gering vochtleverend vermogen en andere factoren die niet direct met het grondwaterstandsverloop samenhangen. Het relatieve bijgroeioptimum van boomsoorten ligt meestal niet op een punt maar op een traject zodat men moet spreken van bijgroei-optimumtraject. Binnen dit traject wordt de groei niet geremd door een verandering van de grondwaterstand, omdat de vochtvoorziening optimaal is. Het bijgroei-optimum van de Amerikaanse eik begint bij een GVG waarde van 65 cm – mv. en eindigt bij een GVG waarde van 120 cm – mv. De bijgroei bedraagt hier 9,0 m³/ha.jaar. In dit traject is er geen schade door droogte of wateroverlast (zie beide curven). Bij diepere GVG-waarden neemt de bijdrage van het grondwater aan het vochtleverend vermogen af, waardoor de aanwas ook verder afneemt. De droogteschade die hieruit voortvloeit neemt hierdoor toe van ca.0,1 m³/ha.jaar (bij een GVG waarde van 121) tot een schade van ca. 1 m³/ha.jaar (bij GVG waarde van 220 cm –mv.)(zie curve droogteschade). Deze afname gaat door tot aan de GVG-waarde voor een hangwaterprofiel. Bij een diepere GVG-waarde blijft de aanwas gelijk aan de aanwas bij een GVG-waarde voor een hangwaterprofiel (vanaf GVG = 220 cm-mv.). Aangezien de GVG in de situatie zonder en met grondwateronttrekking bekend is, kan door de houtbijgroei-grafiek de bijgroei in deze situaties worden vastgesteld. Het verschil in bijgroei is dan een gevolg van de grondwateronttrekking.



Figuur 3 Groeigrafiek van de Amerikaanse eik als afhankelijke van de GVG bij een: matig tot hoge voedingsstoestand, fluctuatie (GLG-GHG) van 100 cm, kritieke z-afstand van 110 cm, effectieve bewortelingsdiepte van 110 cm en een vochtgehalte van 110 mm in de wortelzone

4 Discussie en conclusies

Voor het samenstellen van de landelijk toepasbare reeks groeigrafieken (in de vorm van tabellen) hebben we ten aanzien van de uitgangspunten voor het vervaardigen van deze grafieken een aantal vereenvoudigingen toegepast. Hierdoor kunnen de grafieken in meer of mindere mate afwijken van de werkelijke situatie. Men dient dan ook het verloop van de grafieken (indien mogelijk) te verifiëren met werkelijke hoogtegroeï van een opstand (opstandsregister)(Vroon, 1997). Met behulp van deze grafieken is het mogelijk om bijgroeveranderingen door grondwaterstandsveranderingen op gestandaardiseerde wijze landelijk te kwantificeren.

Uit het literatuuronderzoek is gebleken, dat voedingstoestand 5 niet veel voorkomt in productiebossen. Deze klasse is dan ook niet in de beoordeling meegenomen. Verder blijkt dat er voor productiebossen, vooralsnog geen zuurgraadklassen onderscheiden hoeven te worden. Dit geldt alleen als de zuurgraadklassen impliciet zijn gekoppeld aan de voedingstoestandklassen.

De groeigrafieken blijken voor het afhandelen van bosschadeclaims goed te voldoen om op een controleerbare wijze veranderingen in de houtbijgroei vast te stellen. Daarnaast is het met behulp van de houtbijgroeigrafieken ook mogelijk om de eventuele schade door wateroverlast en of droogte te kwantificeren.

De groeigrafieken zijn ook bruikbaar voor het bepalen van veranderingen in de groei van bomen door andere ingrepen dan grondwaterwinningen.

De grafieken kunnen ook worden gebruikt als kennissysteem om inzicht te verschaffen in het groeigedrag van bomensoorten door veranderingen in de bodemgesteldheid.

Literatuur

- Bakker, G en H.R.J. Vroon, 1999. *Het bepalen van groeiverandering van bomen bij verandering van de grondwaterstand*. Nederlands Bosbouw Tijdschrift, jaargang 71-nr. 4-juli/augustus 1999 pag. 181-184.
- Bannink, J.F., H.N. Leijns en I.S. Zonneveld, 1973. *Vegetatie, groeiplaats en boniteit in Nederlandse Naaldboutbossen*. Wageningen, STIBOKA. Bodemkundige Studies 9.
- Bouwmans, J.M.M., 1990. *Achtergrond en toepassing van de TCGB-tabel. Een methode voor het bepalen van de opbrengstdepressie van grasland op zandgrond als gevolg van een grondwaterstandsverlaging*. Utrecht, Nota Secretariaat TCGB.
- Burg, J. van den, 1987. *Relaties tussen het vochtleverend vermogen van de grond, het waterverbruik en de groei van een aantal boomsoorten: een literatuurstudie*. Utrecht, Studiecommissie Water Natuur Bos en Landschap. Rapport 7e.
- CoGroWa, 1993. *Bosshade-onderzoek grondwateronttrekking Maartensdijk (Groenkan)*. Onderzoek in het kader van de Grondwaterwet Waterleidingbedrijven naar de gevolgen van de grondwateronttrekking voor bos door de N.V. Waterleidingbedrijf Midden-Nederland (WMN). Utrecht, CoGroWa. Rapport GW 299/VRN, april 1993.
- Delft, S.P.J., 1995. *Bodemgesteldheid, enkele beheersaspecten en vegetatie in 208 opstanden van Robusta-populier*. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport nr. 202.
- Delft, S.P.J. van, 1991. *Invloed van grondwaterstandsvaling op de houtbijgroei van bos rond het pompstation Vessem*. Wageningen, DLO -Staring Centrum. Rapport 87.
- Haans, J.C.F.M., 1979. *De interpretatie van bodemkaarten. Rapport van de werkgroep interpretatie bodemkaarten, stadium-C*. Wageningen, STIBOKA. Rapport 1463.
- Hendriks, C.M.A., 1988. *Onderzoek naar de invloed van grondwaterstandsvaling op de houtbijgroei van bos. Een oriënterend onderzoek in een boscomplex van de gemeente Veldhoven*. Stiboka, Wageningen. Rapport nr. 1998.
- Hendriks, C.M.A., M.J.D. Hack ten Broeke en G.A. van Soesbergen, 1999. *Klasse. Ontwikkeling van een kennisstelsel voor landevaluatie*. Wageningen, ALTErrA. Rapport nr. 395.
- Jansen, J.J., J. Sevenster en P.J. Faber, 1996. *Opbrengsttabellen voor belangrijke boomsoorten in Nederland*. Wageningen, IBN. Rapport nr. 221.
- Krabbenborg, A.J., J.N.B. Poelman en E.J. van Zuilen, 1983. *Standaardvocht-karakteristieken van zand- en veenkoloniale gronden*. Wageningen, Stiboka. Rapport nr. 1680.

- Locher, W.P. en H. de Bakker, 1990. *Bodemkunde van Nederland. Deel 1, Algemene bodemkunde*. Den Bosch, Malmberg.
- Mekkink, P., 1988. *Bodemkundig-hydrologisch onderzoek Eiland van Dordrecht*. Wageningen, Stiboka. Rapport nr. 2028.
- Schutz, P.R. en G. van Tol, 1990. *Aanleg en beheer van bos en beplantingen*. Wageningen, PUDOC.
- Soesbergen, G. van, C. van Wallenburg, K.R. van Lynden en H.A.J. van Lanen, 1986. *De interpretatie van bodemkundige gegevens*. Wageningen, STIBOKA. Rapport 1967.
- Stolp, J. en H.R.J. Vroon, 1990. *Een snelle methode voor het berekenen van kritieke z-afstanden en verzadigingstekorten bij twee fluxen (2 en 1 mm/dag) in gelaagde bodemprofielen tijdens de veldopname*. Wageningen, Staring Centrum. Interne mededeling nr. 92.
- Waenink, A.W. en K.R. van Lynden, 1988. "Een systeem voor de geschiktheidsbeoordeling van gronden voor bos." *Nederlands Bosbouw tijdschrift* (60) 1:12-22.
- Waenink, A.W. en K.R. van Lynden, 1989. "Een systeem voor de geschiktheidsbeoordeling van gronden voor bos; deel 2: Verificatie en toepassing" *Nederlands Bosbouw tijdschrift* (61) 3:81-87.
- Wösten, J.H.M., M.H. Bannink en J. Beuving, 1987. *Waterretentiekarakteristieken en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: De Staringreeks*. Wageningen, ICW en STIBOKA, ICW-Rapport 18 en Stiboka - Rapport 1932.
- Vroon, H.R.J., 1997. *Boschade door grondwateronttrekking op de landgoederen De Leyen en Eikenlust*. Staring Centrum, Wageningen. Rapport nr. 553.

Woordenlijst

Absolute boniteit: de grootte van de gemiddelde aanwas op het tijdstip van de grootste hoogte.

Culminatie: grootste hoogte.

Grondwatertrap (Gt): klasse gedefinieerd door een zekere GHG- en/of GLG-traject.

Grondwaterspiegel (= freatisch vlak): denkbeeldig vlak waarop de druk in het grondwater gelijk is aan de atmosferische druk. De 'bovengrens' van het grondwater.

Grondwaterstand (= freatisch niveau): diepte waarop zich de grondwaterspiegel bevindt, uitgedrukt in cm beneden maaiveld (cm - mv.) of cm beneden NAP (Normaal Amsterdams Peil, een referentievlak).

GHG (Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand): het gemiddelde van de drie hoogste grondwaterstanden per winterhalfjaar (oktober-maart) over minimaal 8 jaar. Is representatief voor de wintergrondwaterstand

GLG (Gemiddeld Laagste Grondwaterstand): het gemiddelde van de drie laagste grondwaterstanden per zomerhalfjaar (april-september) over minimaal 8 jaar. Is representatief voor de grondwaterstand aan het eind van het groeiseizoen.

GVG (Gemiddelde Voorjaars Grondwaterstand): langjarig gemiddelde van de grondwaterstand op 1 april. Is representatief voor de grondwaterstand aan het begin van het groeiseizoen.

Hangwaterprofiel een profiel waarbij het vochtleverend vermogen overwegend wordt bepaald door de hoeveelheid vocht in de effectieve wortelzone. Reeds in het voorjaar is de afstand van de grondwaterspiegel tot de effectieve wortelzone

